



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2023년09월13일
(11) 등록번호 10-2577357
(24) 등록일자 2023년09월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01S 7/35 (2006.01) G01S 13/02 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01S 7/352 (2013.01)
G01S 2013/0245 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0067075
(22) 출원일자 2018년06월11일
심사청구일자 2021년06월11일
(65) 공개번호 10-2019-0140362
(43) 공개일자 2019년12월19일
(56) 선행기술조사문헌
JP2014196957 A*
KR1020150051695 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
한국전자통신연구원
대전광역시 유성구 가정로 218 (가정동)
세종대학교산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
(72) 발명자
신동승
대구광역시 달성군 현풍면 테크노북로4길 11, 10
8동 404호 (대구테크노폴리스남해오네뜨1차)
이준호
경기도 가평군 조종면 조종새싹로 53, 904호 (임
성아파트)
(74) 대리인
특허법인아주, 팬코리아특허법인

전체 청구항 수 : 총 8 항

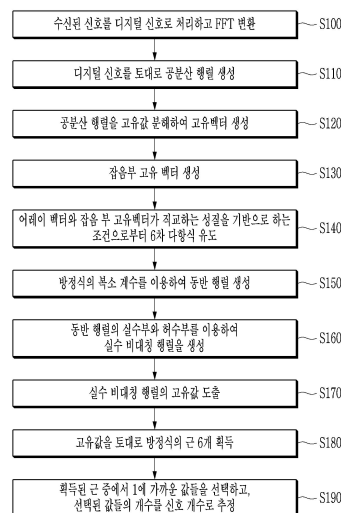
심사관 : 김규리

(54) 발명의 명칭 레이더 시스템의 신호 개수 추정 방법 및 장치

(57) 요약

레이더 시스템의 신호 개수 추정 방법 및 장치가 제공된다. 복수의 안테나 소자로 구성되는 어레이 안테나를 구비한 레이더 시스템에서 표적으로부터 반사되어 수신되는 신호의 개수를 추정하기 위해, 어레이 안테나를 통하여 수신된 신호에 대응하는 신호 데이터의 잡음 부 고유 벡터와, 어레이 안테나에 대응하는 어레이 벡터가 직교하는 것을 기반으로 하는 6차 다항식의 방정식을 유도하고, 방정식의 복소계수를 이용하여 동반행렬로부터 실수 비대칭 행렬을 생성한다. 그리고 실수 비대칭 행렬의 고유값을 도출하고, 도출된 고유값들을 토대로 신호 개수를 추정한다.

대표도 - 도6



(72) 발명자

백지웅

서울특별시 송파구 중대로 24, 107동 1401호 (문정동, 올림픽훼밀리타운)

정소희

대구광역시 달성군 현풍면 테크노북로2길 10, 107동 1707호 (대구테크노폴리스엘에이치천년나무1단지)

명세서

청구범위

청구항 1

복수의 안테나 소자로 구성되는 어레이 안테나를 구비한 레이더 시스템에서 표적으로부터 반사되어 수신되는 신호의 개수를 추정하는 방법으로서,

장치가, 상기 어레이 안테나를 통하여 신호를 수신하는 단계;

상기 수신된 신호에 대응하는 신호 데이터의 잡음 부 고유 벡터를 획득하는 단계;

상기 잡음 부 고유 벡터와, 상기 어레이 안테나에 대응하는 어레이 벡터가 직교하는 것을 기반으로 하는 다항식의 방정식을 유도하는 단계;

상기 방정식의 복소계수에 기반하여 동반(companion) 행렬을 생성하고, 상기 동반 행렬로부터 실수 비대칭 행렬을 생성하는 단계;

상기 실수 비대칭 행렬의 고유값을 도출하는 단계; 및

상기 도출된 고유값들을 토대로 신호 개수를 추정하는 단계

를 포함하는, 신호 개수 추정 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 잡음 부 고유 벡터를 획득하는 단계는,

상기 수신된 신호와 잡음으로 이루어진 공분산 행렬에서 대각 성분의 합으로 이루어지는 고유값들에 대응하는 고유 벡터 중에서, 신호 개수+1번째 열부터 존재하는 고유 벡터를 상기 잡음 부 고유 벡터로서 획득하는 단계

를 포함하는, 신호 개수 추정 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 신호 데이터를 시간 평균하는 것에 의해 상기 공분산 행렬을 획득하며,

상기 고유값들에 대응하는 고유 벡터 중에서 신호 성분에 대응하는 어레이 벡터와 상기 잡음 부 고유 벡터는 직교하는, 신호 개수 추정 방법.

청구항 4

삭제

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 다항식의 방정식을 유도하는 단계는,

$\mathbf{a}^H(\theta) \mathbf{E}_N \mathbf{E}_N^H \mathbf{a}(\theta) = 0$ 의 조건을 기반으로 상기 방정식을 유도하며, 여기서 \mathbf{a} 는 어레이 벡터를 나타내고, \mathbf{E} 는 잡음 부 고유벡터를 나타내는, 신호 개수 추정 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 실수 비대칭 행렬을 생성하는 단계는,

상기 동반 행렬의 실수부 행렬 A와 허수부 행렬 B를 이용하여 실수 비대칭 행렬 $[A -B; B A]$ 을 생성하는 단계

를 포함하는, 신호 개수 추정 방법.

청구항 7

복수의 안테나 소자로 구성되는 어레이 안테나를 구비한 레이더 시스템에서 표적으로부터 반사되어 수신되는 신호의 개수를 추정하는 장치로서,

송수신부;

메모리; 및

프로세서

를 포함하고,

상기 프로세서는 상기 메모리에 저장된 명령을 실행하여,

상기 송수신부로부터 상기 어레이 안테나를 통하여 수신된 신호에 대응하는 신호 데이터를 획득하고;

상기 신호 데이터의 잡음 부 고유 벡터를 획득하며;

상기 잡음 부 고유 벡터와, 상기 어레이 안테나에 대응하는 어레이 벡터가 직교하는 것을 기반으로 하는 다항식의 방정식을 유도하고;

상기 방정식의 복소계수에 기반하여 동반(companion) 행렬을 생성하고, 상기 동반 행렬로부터 실수 비대칭 행렬을 생성하며;

상기 실수 비대칭 행렬의 고유값을 도출하고, 상기 도출된 고유값들을 토대로 신호 개수를 추정하도록 구성되는, 신호 개수 추정 장치.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 프로세서는, 상기 수신된 신호와 잡음으로 이루어진 공분산 행렬에서 대각 성분의 합으로 이루어지는 고유값들에 대응하는 고유 벡터 중에서, 신호 개수+1번째 열부터 존재하는 고유 벡터를 상기 잡음 부 고유 벡터로서 획득하도록 구성되는, 신호 개수 추정 장치.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 프로세서는, 상기 신호 데이터를 시간 평균하는 것에 의해 상기 공분산 행렬을 획득하도록 구성되며, 상기 고유값들에 대응하는 고유 벡터 중에서 신호 성분에 대응하는 어레이 벡터와 상기 잡음 부 고유 벡터는 직교하는, 신호 개수 추정 장치.

청구항 10

삭제

발명의 설명

기술 분야

본 발명은 신호 추정에 관한 것으로, 더욱 상세하게 말하자면, 레이더(radar) 시스템의 신호 개수 추정 방법 및 장치에 관한 것이다.

[0001]

배경 기술

- [0002] 레이더 시스템은 표적을 탐지하기 위해 고안된 레이더 파형을 송신하고 표적(target)이 반사한 신호를 수신하여 신호처리를 함으로써 표적을 탐지하는 시스템으로 다양한 분야에 적용되고 있다. 차량용 레이더는 안전운행을 위한 전방에 존재하는 표적의 위치, 속도 정보를 추정하여 사고를 미연에 방지하기 위해 사용되고 있다.
- [0003] 레이더 시스템은 일반적으로 복수의 안테나 소자로 구성되는 어레이 안테나를 구비하고, 어레이 안테나로 수신되는 수신 신호의 수신 방향(DOA: Direction Of Arrival)을 추정하여 물체의 각도를 판별한다. 수신 신호의 방향 즉 각도는 물체로부터 반사되는 평면파인 반사파가 복수개의 안테나 소자 각각과 이루는 각도에 따라 발생하는 지연시간과 위상 차를 측정함으로써 획득할 수 있다. 차량용 레이더에서 일반적으로 사용되는 고분해능의 각도 추정을 실시하는 알고리즘으로는 MUSIC(Multiple Signal Classification), ESPRIT(Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques) 등이 알려져 있다. 이러한 알고리즘들은 각 안테나 소자(채널이라고도 한다)가 수신한 수신 신호 사이의 상관을 나타내는 상관 행렬에 근거하여 각도 스펙트럼을 생성하고, 이 각도 스펙트럼을 스캔하여 각도를 추정한다.
- [0004] MUSIC나 ESPRIT 등의 알고리즘은 부공간(subspace) 기반의 각도 추정 알고리즘으로서, 각도 분해 성능 및 각도 추정 정확도를 향상시키기 위해서는 표적으로부터 반사된 신호의 개수를 정확하게 파악하여 전체 수신 신호의 공간에서 반사 신호의 부공간과 잡음 부공간을 구분하는 것이 중요하다.
- [0005] 신호 개수를 추정하는 방법으로는 AIC(Akaike's Information Criterion) 및 MDL(Minimum Description Length) 방법, 그리고 직관적인 방법이 있다. AIC 및 MDL을 이용한 신호 개수 추정 방법은 공분산 행렬의 고유값들의 곱과 합의 비를 통해서 신호 개수를 추정하거나, 또는 고유값의 기하평균과 산술평균의 비를 통해서 신호 개수를 추정하는 방법이다. 이 방법은 직접파만 존재할 경우에는 신호의 개수를 잘 추정하지만, 반사파가 있을 경우 신호 개수를 정확히 추정하지 못하는 단점이 있다. 직관적인 방법을 이용한 신호개수 추정 알고리즘은 공분산 행렬의 고유값의 비를 통해서 신호의 개수를 추정하는 방법이다. 이 방법은, 계산량이 작지만 고유값이 너무 작을 경우, 신호의 개수를 정확히 추정하지 못하는 단점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0006] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 레이더 시스템에서 표적으로부터 반사된 신호의 개수를 정확하게 추정할 수 있는 방법 및 장치를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0007] 본 발명의 특징에 따른 레이더 시스템의 신호 개수 추정 방법은, 복수의 안테나 소자로 구성되는 어레이 안테나를 구비한 레이더 시스템에서 표적으로부터 반사되어 수신되는 신호의 개수를 추정하는 방법으로서, 장치가, 상기 어레이 안테나를 통하여 신호를 수신하는 단계; 상기 수신된 신호에 대응하는 신호 데이터의 잡음 부 고유 벡터를 획득하는 단계; 상기 잡음 부 고유 벡터와, 상기 어레이 안테나에 대응하는 어레이 벡터가 직교하는 것을 기반으로 하는 다항식의 방정식을 유도하는 단계; 상기 방정식의 복소계수를 이용하여 동반(companion) 행렬로부터 실수 비대칭 행렬을 생성하는 단계; 상기 실수 비대칭 행렬의 고유값을 도출하는 단계; 및 상기 도출된 고유값들을 토대로 신호 개수를 추정하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

- [0008] 본 발명의 실시 예에 따르면, 복수의 안테나 소자로 구성되는 어레이 안테나를 구비한 레이더 시스템에서, 루트(Root) MUSIC(Multiple Signal Classification) 알고리즘을 기반으로 표적으로부터 반사되는 신호의 개수를 정확하게 추정할 수 있다. 특히, 신호 데이터의 잡음 공분산 벡터와 어레이 벡터의 직교 성질을 이용하고 루트 MUSIC 알고리즘에서 유도하는 방정식의 성질을 이용하여 신호 개수를 추정함으로써, 어떤 환경에서도 정확하게 적은 계산량으로 신호 개수를 추정할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0009] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 안테나를 나타낸 예시도이다.

도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 고유값 분해를 나타낸 예시도이다.

도 3 내지 도 5는 본 발명의 실시 예에 따른 신호 개수 추정 결과를 나타낸 예시도이다.

도 6은 본 발명의 실시 예에 따른 신호 개수 추정 방법의 흐름도이다.

도 7은 본 발명의 실시 예에 따른 신호 개수 추정 장치의 구조도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0010] 아래에서는 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시 예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시 예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.
- [0011] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성 요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.
- [0012] 본 명세서에서 단수로 기재된 표현은 "하나" 또는 "단일" 등의 명시적인 표현을 사용하지 않은 이상, 단수 또는 복수로 해석될 수 있다.
- [0013] 이하, 도면을 참조하여 본 발명의 실시 예에 따른 레이더 시스템의 신호 개수 추정 방법 및 장치에 대하여 설명한다.
- [0014] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 안테나를 나타낸 예시도이다.
- [0015] 본 발명의 실시 예에 따른 레이더 시스템은 복수의 안테나 소자로 구성되는 어레이 안테나를 사용한다. 예를 들어, ULA(Uniform Linear Array) 안테나를 사용한다. 첨부한 도 1에서와 같이, ULA 안테나에서, 복수의 안테나 소자가 균일한 거리마다 배치되어 있으며, 이에 따라 안테나 소자 간의 위상 차가 발생하게 된다. 어레이 안테나의 안테나 소자들의 위상 차 데이터(안테나 응답) 벡터를 어레이 벡터(array vector)라고 한다.
- [0016] N개의 안테나 소자를 가지는 어레이 안테나에서 신호와 잡음으로 계산되는 공분산 행렬은 고유값 분해(eigenvalue decomposition)되어 고유 벡터들을 구할 수 있다.
- [0017] 도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 고유값 분해를 나타낸 예시도이다.
- [0018] 공분산 행렬을 공지된 고유값 분해 기법에 따라 처리하여 고유값을 획득할 수 있으며, 고유값 분해 특성에 따라 고유값들의 합은 공분산 행렬의 대각 성분의 합이다. 고유값 분해에 의해, 첨부한 도 2에서와 같이, 고유값들(λ)에 해당하는 고유 벡터(V)들을 구할 수 있으며, 신호 개수+1 번째 열부터 존재하는 고유벡터들을 "잡음 부 고유 벡터"라고 한다. 이때, 신호 성분에 상응하는 어레이 벡터는 잡음 부 고유벡터와 직교하고, $\mathbf{a}^H(\theta)\mathbf{E}_N\mathbf{E}_N^H\mathbf{a}(\theta)=0$ 이 만족된다. 여기서, a는 어레이 벡터를 나타내고, E는 잡음 부 고유벡터를 나타낸다.
- [0019] 본 발명의 실시 예에서는 루트(Root) MUSIC(Multiple Signal Classification) 알고리즘의 원리를 기반으로 표적으로부터 반사된 신호의 개수를 추정한다. 위에서 살펴본 바와 같은 어레이 벡터, 잡음 부 고유벡터 그리고 어레이 벡터와 잡음 부 고유벡터가 직교하는 것을 기반으로, 다음과 같이 신호 개수를 추정한다.
- [0020] 안테나 소자가 4개일 경우, 안테나를 통하여 수신되는 신호(입사 신호)의 어레이 벡터는 다음 수학적 식 1과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 1

$$\mathbf{a}(\theta) = \begin{bmatrix} e^{(j\pi \cdot 0 \cdot \cos \theta)} \\ e^{(j\pi \cdot 1 \cdot \cos \theta)} \\ e^{(j\pi \cdot 2 \cdot \cos \theta)} \\ e^{(j\pi \cdot 3 \cdot \cos \theta)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z^0 \\ z^1 \\ z^2 \\ z^3 \end{bmatrix}$$

[0021]

[0022] 수신되는 신호에 대응하는 공분산 행렬(R)은 수신 신호 데이터 Y를 시간 평균(time average)함으로써 구할 수 있다.

수학식 2

$$\mathbf{R} = \frac{1}{L} \mathbf{Y} \mathbf{Y}^H$$

[0023]

[0024] 고유값 분해를 통해 공분산 행렬의 고유벡터를 구할 수 있다. 그 중 잡음 부 고유벡터는 입사 신호의 어레이 벡터와 직교한다. 이러한 특성을 이용하여 다음과 같은 수학식 3을 유도할 수 있다.

수학식 3

$$\begin{bmatrix} z^{0*} & z^{1*} & z^{2*} & z^{3*} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & P_{24} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & P_{34} \\ P_{41} & P_{42} & P_{43} & P_{45} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z^0 \\ z^1 \\ z^2 \\ z^3 \end{bmatrix} = \mathbf{0}, \quad P_{ji} = (P_{ij})^*$$

[0025]

$$\mathbf{a}^H(\theta) \mathbf{E}_N \mathbf{E}_N^H \mathbf{a}(\theta) = \mathbf{0}$$

[0026] 수학식 3에서, $(\cdot)^*$ 는 conjugate를 나타내며, $(\cdot)^H$ 는 Hermitian(transpose conjugate)를 나타낸다.

$\mathbf{a}^H(\theta) \mathbf{E}_N \mathbf{E}_N^H \mathbf{a}(\theta) = \mathbf{0}$ 를 만족하는 θ 를 신호의 입사 방향으로 추정할 수 있으며, $\mathbf{a}^H(\theta) \mathbf{E}_N \mathbf{E}_N^H \mathbf{a}(\theta) = \mathbf{0}$ 를 토대로 유도된 수학식 3은 z 에 대한 6차 다항식으로 표현될 수 있다. z 에 대한 6차 다항식으로 이루어진 방정식의 해를 구하면 신호 개수 d 개의 근 z_1, \dots, z_d 를 구할 수 있다. 수학식 1에서 z^m $m=1, \dots, 4$ 는 첫 번째 안테나와 m 번째 안테나 사이의 위상차를 나타낸다.

[0027]

P 는 잡음고유벡터 \mathbf{E}_N 의 행렬곱으로 이루어진 다음의 수식을 나타낸다.

수학식 4

$$\mathbf{P} \equiv \mathbf{E}_N \mathbf{E}_N^H = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & P_{24} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & P_{34} \\ P_{41} & P_{42} & P_{43} & P_{45} \end{bmatrix}$$

[0028]

[0029] 위의 수학식 4로부터 하기와 같은 수식이 만족된다.

수학식 5

$$\sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 (z^{i-1})^* z^{j-1} p_{ij} = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 p_{ij} z^{j-1}$$

[0030]

[0031] 이러한 수학식 5를 Z에 대한 다항식으로 나타내면 다음과 같다.

수학식 6

$$(P_{14})z^3 + (P_{13} + P_{24})z^2 + (P_{12} + P_{23} + P_{34})z^1 + (P_{11} + P_{22} + P_{33} + P_{44})z^0 + (P_{21} + P_{32} + P_{43})z^{-1} + (P_{31} + P_{42})z^{-2} + (P_{41})z^{-3} = 0$$

[0032]

[0033] 이러한 수학식 6을 다시 나타내면 다음과 같다.

수학식 7

$$z^6 + \frac{(P_{13} + P_{24})}{(P_{14})} z^5 + \frac{(P_{12} + P_{23} + P_{34})}{(P_{14})} z^4 + \frac{(P_{11} + P_{22} + P_{33} + P_{44})}{(P_{14})} z^3 + \frac{(P_{21} + P_{32} + P_{43})}{(P_{14})} z^2 + \frac{(P_{31} + P_{42})}{(P_{14})} z^1 + \frac{(P_{41})}{(P_{14})} z^0 = 0$$

[0034]

[0035] 수학식 7을 최종적으로 정리하면 다음과 같다.

수학식 8

$$a_6 z^6 + a_5 z^5 + a_4 z^4 + a_3 z^3 + a_2 z^2 + a_1 z^1 + a_0 z^0 = 0$$

[0036]

[0037] 이와 같이, 획득된 방정식의 복소계수를 이용하여 수학식 9와 같이 동반(companion) 행렬 PP를 정의한다.

수학식 9

$$\mathbf{PP} = \begin{bmatrix} -\frac{a_5}{a_6} & -\frac{a_4}{a_6} & -\frac{a_3}{a_6} & -\frac{a_2}{a_6} & -\frac{a_1}{a_6} & -\frac{a_0}{a_6} \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

[0038]

[0039] 그 동안 행렬 PP의 실수부 행렬과 허수부 행렬을 각각 A와 B로 정의한다. 이를 토대로 실수 비대칭 행렬 $\begin{bmatrix} \mathbf{A} & -\mathbf{B}; \mathbf{B} & \mathbf{A} \end{bmatrix}$ 을 생성하고, 해당 행렬의 고유값 6쌍을 구함으로써 방정식의 근을 구한다.

[0040] 루트 MUSIC 알고리즘에서, 도래각은 방정식의 근으로부터 구해진다. 루트 MUSIC의 유도과정의 치환에 의한 변수의 정의를 보면, 방정식의 근의 절대값은 항상 1이어야 한다. 그러나 실제 상황에서 근의 절대값은 항상 1이 나오지는 않는다. 따라서, 입사각 $\theta^{(true)}$ 에 해당하는 z 는 exponential 함수이기 때문에, $(z^{i(true)} = |z^{i(true)}| e^{j \arg(z^{i(true)})} \quad i=1, K, d)$ 크기가 1이어야 한다. 절대값이 1에 충분히 가까운 근의 개수를 이용하여 신호 개수를 추정할 수 있다($|z^{i(true)}|; 1$). 즉, 실수 비대칭 행렬 $\begin{bmatrix} \mathbf{A} & -\mathbf{B}; \mathbf{B} & \mathbf{A} \end{bmatrix}$ 의 고유값으로부터 획득되는 방정식의 6개의 근 중에서 1에 가까운 값들을 선택하고, 선택된 값의 개수를 신호 개수로 추정한다.

[0041] 도 3 내지 도 5는 본 발명의 실시 예에 따른 신호 개수 추정 결과를 나타낸 예시도이며, 특히, SNR(Signal to noise ration)의 변화에 따른 본 발명의 실시 예에 따른 신호 개수 추정 결과를 보인다. 구체적으로, 도 3은 SNR이 5dB일 때 본 발명의 실시 예에 따른 신호 개수 추정 결과를 나타낸 그래프이고, 도 4는 SNR이 10dB일 때 본 발명의 실시 예에 따른 신호 개수 추정 결과를 나타낸 그래프이고, 도 5는 SNR이 20dB일 때 본 발명의 실시 예에 따른 신호 개수 추정 결과를 나타낸 그래프이다.

[0042] 본 발명의 실시 예에 따른 어레이 안테나가 4개의 안테나 소자를 포함하고 있는 것으로 가정한다. 이 경우, 추정할 수 있는 신호의 총 개수는 3개이다. 시뮬레이션시 이용된 신호원의 개수는 2개로 설정하고, 레인지(Range)는 각각 4.5m와 6m로 설정하며, 도래각은 각각 -20deg와 10deg로 설정하였다. 각 그래프에서 "원"은 근의 크기가 1에 근사함을 보이기 위해 추가한 것이다.

[0043] 본 발명의 실시 예에 따른 방법에 대하여 위와 같은 설정을 하고 시뮬레이션을 하면, 도 3 내지 도 5에서와 같이, 실수 비대칭 행렬 $\begin{bmatrix} \mathbf{A} & -\mathbf{B}; \mathbf{B} & \mathbf{A} \end{bmatrix}$ 의 고유값들이며 방정식의 근에 해당하는 6개의 점들이 획득된다.

[0044] SNR이 5dB일 때의 본 발명의 실시 예에 따른 신호 개수 추정 결과를 보면, 첨부한 도 3에서와 같이, 그래프에 존재하는 6개의 점들 중 두 쌍이 원의 테두리 위의 각각의 포인트에서 모이고 나머지 두 점이 서로 떨어져있는 것을 확인할 수 있다. 해당 결과를 통해, 2개의 신호를 정확하게 추정하고 있음을 알 수 있다.

[0045] SNR이 10dB일 때의 본 발명의 실시 예에 따른 신호 개수 추정 결과를 보면, 첨부한 도 4에서와 같이, 그래프에 존재하는 6개의 점들 중 두 쌍의 점이 원의 테두리에 제대로 모이는 것을 확인 할 수 있으며, 이는 정확하게 주어진 신호 개수를 추정하고 있음을 의미한다.

[0046] 마지막으로 SNR이 20dB일 때의 실시 예에 따른 신호 개수 추정 결과를 보면, 첨부한 도 5에서와 같이, 그래프에 존재하는 6개의 점들 중 두 쌍의 점이 원의 테두리 위에 존재하고 각각의 포인트에서 모이는 것을 볼 수 있다. 이는 정확하게 주어진 신호 개수를 추정하고 있음을 의미한다.

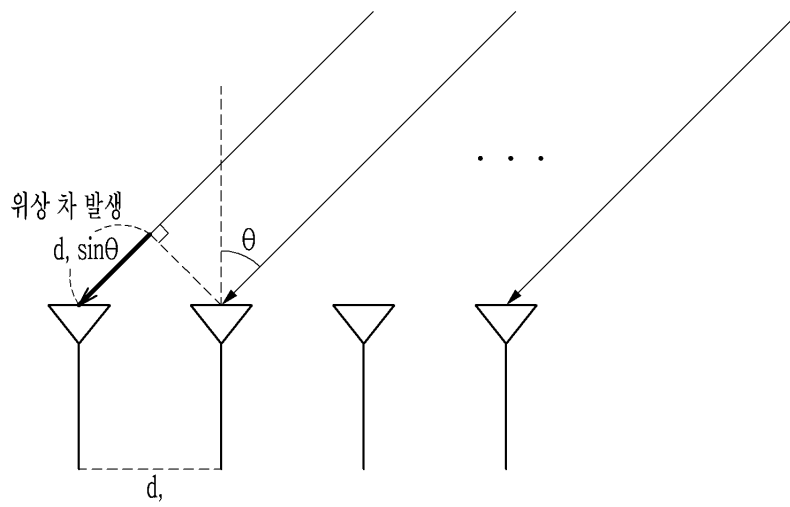
[0047] 따라서 이러한 시뮬레이션을 통해, 본 발명의 실시 예에 따른 신호 개수 추정 방법에 따르면, SNR이 20dB인 환

경에서도 신호 개수를 정확하게 추정함을 알 수 있다.

- [0048] 도 6은 본 발명의 실시 예에 따른 신호 개수 추정 방법의 흐름도이다.
- [0049] 레이더 시스템에서 신호를 어레이 안테나를 이용하여 송신하며(설정 시간 동안 선형적으로 주파수 변조되는 신호를 연속적으로 다수개 송신할 수 있음), 표적에 의해 반사되어 어레이 안테나에 의해 수신된 신호를 다운컨버트(down-covert)하여 디지털 샘플링하여 디지털 신호를 획득한다. 표적으로부터 반사되어 수신된 신호에 대응하는 디지털 신호는 FFT 처리될 수 있다. 이와 같이 FFT 처리된 신호를 토대로 본 발명의 실시 예에 따른 신호 개수를 추정할 수 있다. 설명의 편의상, 어레이 안테나에 의해 수신되어 위와 같이 처리된 신호를 "수신 신호"라고 명명한다.
- [0050] FFT 처리된 디지털 신호 즉, 수신 신호를 토대로 공분산 행렬을 생성하며(S100, S110), 공분산 행렬에 대해 고유값 분해를 수행하여 고유 벡터를 생성한다(S120). 그리고 소정 조건(예: 신호 개수+1 번째 열부터 존재하는 고유벡터들)을 만족하는 고유 벡터들로 이루어지는 잡음 부 고유 벡터를 생성한다(S130).
- [0051] 신호 성분에 상응하는 어레이 벡터와 잡음 부 고유벡터가 직교하는 성질을 기반으로 하는 $\mathbf{a}^H(\theta)\mathbf{E}_N\mathbf{E}_N^H\mathbf{a}(\theta)=0$ 을 토대로 6차 다항식의 방정식을 유도한다(S140).
- [0052] 방정식의 복소계수를 이용하여 동반(companion) 행렬 PP를 생성하며(S150), 동반 행렬 PP의 실수부 행렬 A와 허수부 행렬 B를 이용하여 실수 비대칭 행렬 $\begin{bmatrix} \mathbf{A} & -\mathbf{B}; \mathbf{B} & \mathbf{A} \end{bmatrix}$ 을 생성한다(S160).
- [0053] 실수 비대칭 행렬 $\begin{bmatrix} \mathbf{A} & -\mathbf{B}; \mathbf{B} & \mathbf{A} \end{bmatrix}$ 의 고유값을 도출한다(S170).
- [0054] 도출된 고유값들이 6차 다항식으로 이루어진 방정식의 근이 되며(S180), 이후, 획득된 근들 중에서 1에 가까운 값을 선택하고, 선택된 값들의 개수를 신호 개수로 추정한다(S190).
- [0055] 도 7은 본 발명의 실시 예에 따른 신호 개수 추정 장치의 구조도이다.
- [0056] 첨부한 도 7에 도시되어 있듯이, 본 발명의 실시 예에 따른 레이더 시스템의 신호 개수 추정 장치(1)는, 프로세서(110), 메모리(120) 및 송수신부(130)를 포함한다. 프로세서(110)는 위의 도 1 내지 도 6을 토대로 설명한 방법을 구현하도록 구성될 수 있다.
- [0057] 메모리(120)는 프로세서(110)와 연결되고 프로세서(110)의 동작과 관련한 다양한 정보를 저장한다. 메모리(120)는 프로세서(110)에서 수행하기 위한 동작을 위한 명령어(instructions)를 저장하고 있거나 저장 장치(도시하지 않음)로부터 명령어를 로드하여 일시 저장할 수 있다.
- [0058] 프로세서(110)는 메모리(120)에 저장되어 있거나 로드된 명령어를 실행할 수 있다. 프로세서(110)와 메모리(120)는 버스(도시하지 않음)를 통해 서로 연결되어 있으며, 버스에는 입출력 인터페이스(도시하지 않음)도 연결되어 있을 수 있다. 여기서, 프로세서(110)는 MCU(micro controller unit)일 수 있다.
- [0059] 송수신부(130)는 신호를 안테나를 통하여 송신하고, 안테나를 통하여 신호를 수신하며, 수신되는 신호를 처리하여 프로세서(110)로 제공할 수 있다. 송수신부(130)는 수신되는 신호를 디지털 신호로 변환처리하여 프로세서(110)로 제공할 수 있으며, 구체적인 과정은 공지된 기술임으로 여기서는 상세한 설명을 생략한다. 또한 송수신부(130)는 프로세서(110)로부터의 신호를 토대로 안테나를 통하여 레이더 신호를 송신하도록 구성될 수 있다.
- [0060] 본 발명의 실시 예는 이상에서 설명한 장치 및/또는 방법을 통해서만 구현이 되는 것은 아니며, 본 발명의 실시 예의 구성에 대응하는 기능을 실현하기 위한 프로그램, 그 프로그램이 기록된 기록 매체 등을 통해 구현될 수도 있으며, 이러한 구현은 앞서 설명한 실시 예의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야의 전문가라면 쉽게 구현할 수 있는 것이다.
- [0061] 이상에서 본 발명의 실시 예에 대하여 상세하게 설명하였지만 본 발명의 권리범위는 이에 한정되는 것은 아니고 다음의 청구범위에서 정의하고 있는 본 발명의 기본 개념을 이용한 당업자의 여러 변형 및 개량 형태 또한 본 발명의 권리범위에 속하는 것이다.

도면

도면1



도면2

신호개수 만큼의 성분이 큰 값을 가짐
나머지 성분은 잡음의 분산과 동일

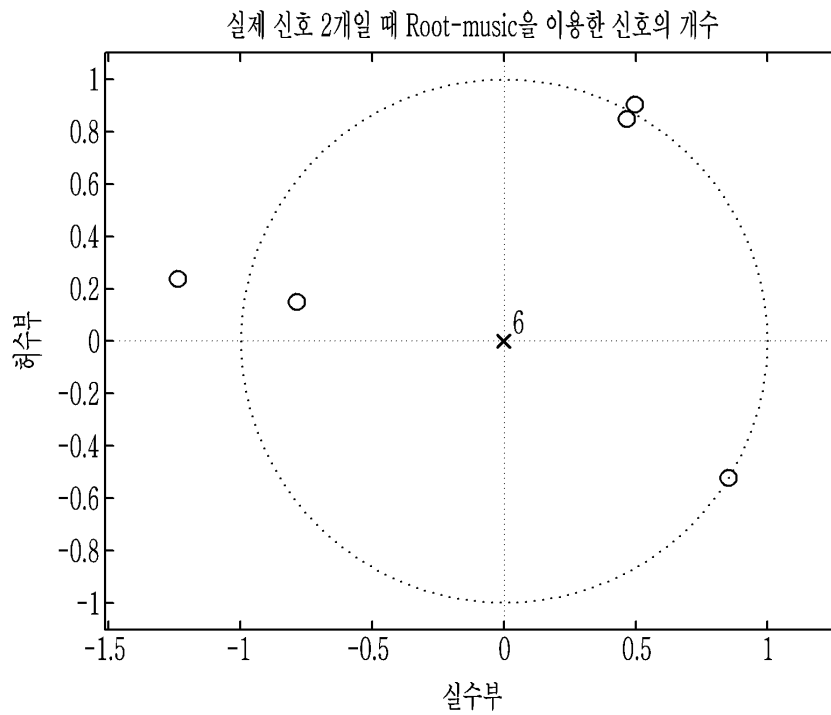
$$RV = \text{diag}(\lambda) V$$

$$\begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & \cdots & R_{1M} \\ R_{21} & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ R_{M1} & \cdots & \cdots & R_{MM} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} & \cdots & V_{1M} \\ V_{21} & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ V_{M1} & \cdots & \cdots & V_{MM} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \ddots & \vdots \\ \vdots & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & \lambda_M \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} & V_{13} & \cdots & V_{1M} \\ V_{21} & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \ddots & \vdots \\ V_{M1} & \cdots & V_{M3} & \cdots & V_{MM} \end{bmatrix}$$

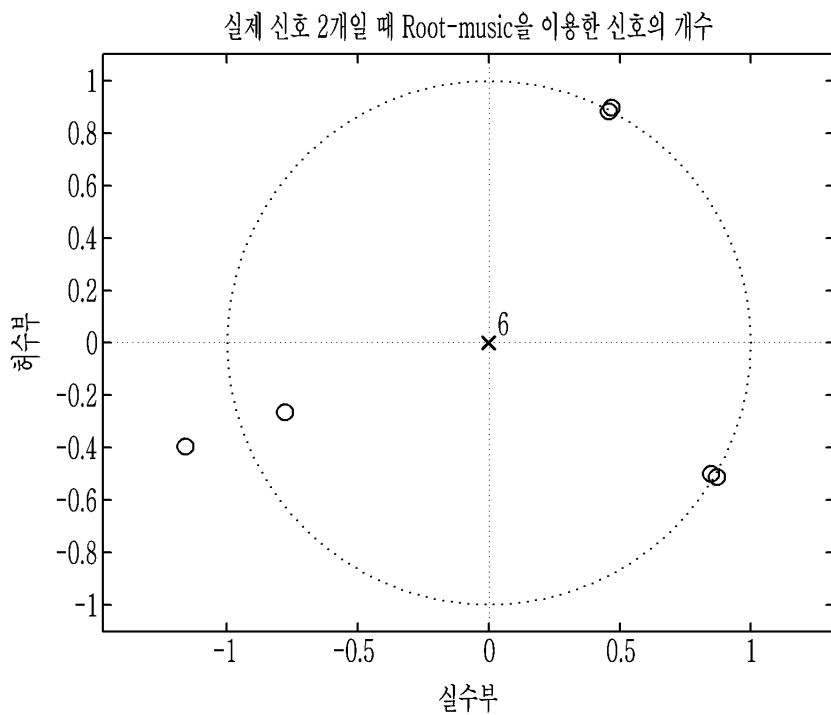
U_N

잡음 부 고유벡터로 이루어진 행렬

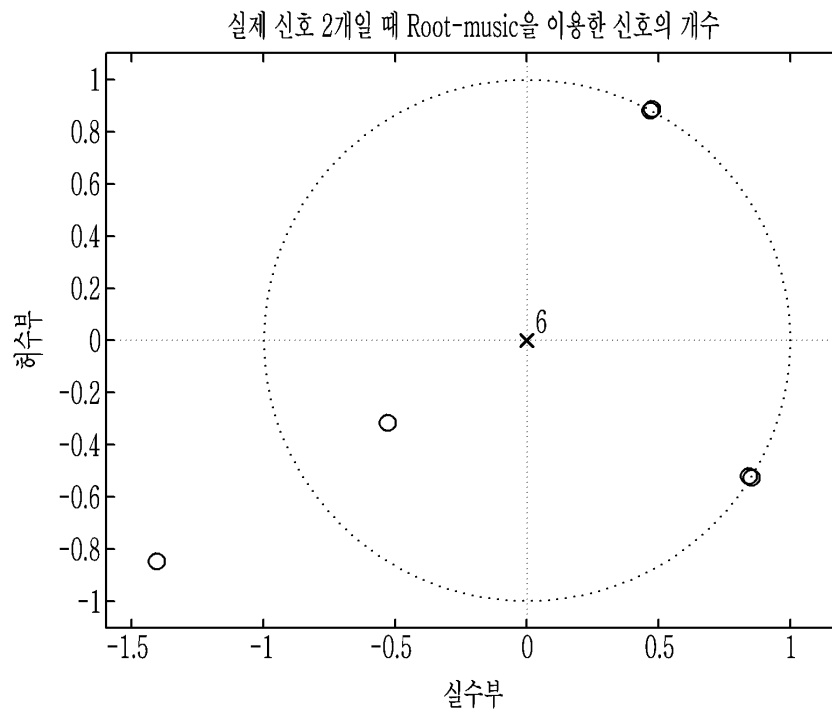
도면3



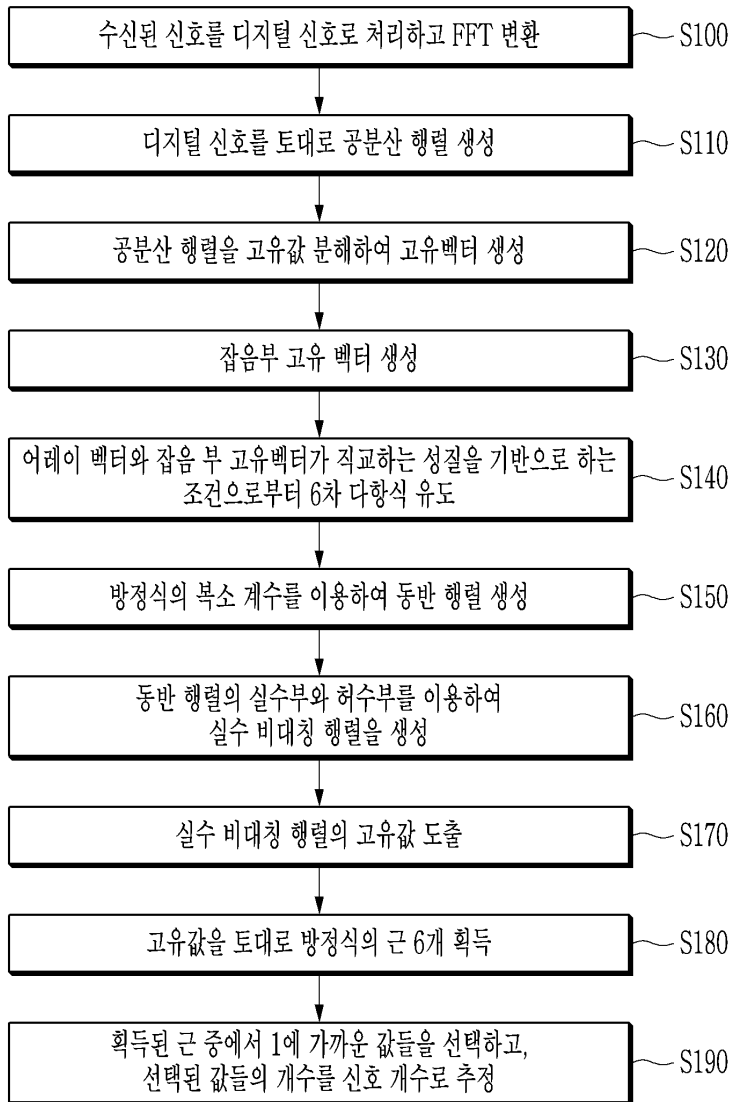
도면4



도면5



도면6



도면7

